03 | 芯片设计：一颗芯片到底是如何诞生的（上）

2021-05-24 邵巍

《说透芯片》 课程介绍 >

讲述：邵巍
时长 18:08 大小 16.62M

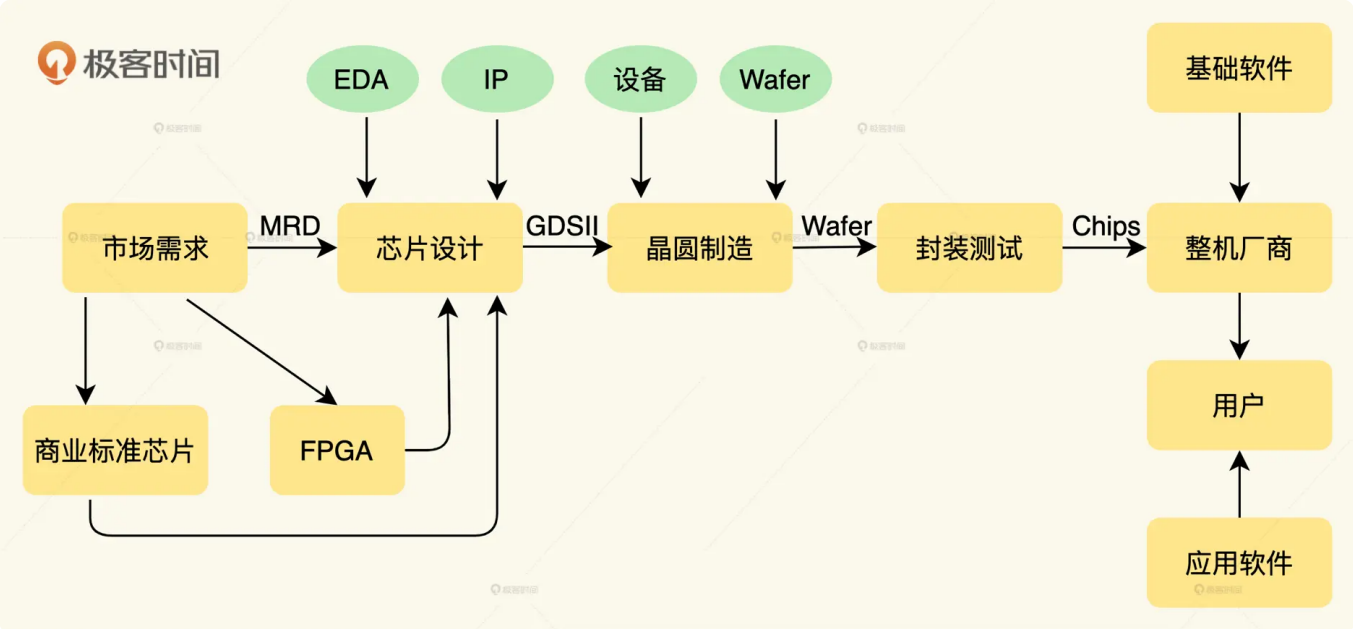
你好，我是邵巍。

上一讲我介绍了一下半导体产业都有什么样的产品，并且通过拆解一部 iPhone，给你展示了一部手机都需要用到多少芯片。

那么这一讲我们来聊聊，一颗芯片，是如何诞生的呢？其实一颗芯片项目就是一个标准的产品项目，项目的起点是市场需求分析，接着是设计和制造，如果产品成功完成了商业落地，那么就可以开启下一代产品的迭代升级新周期了。

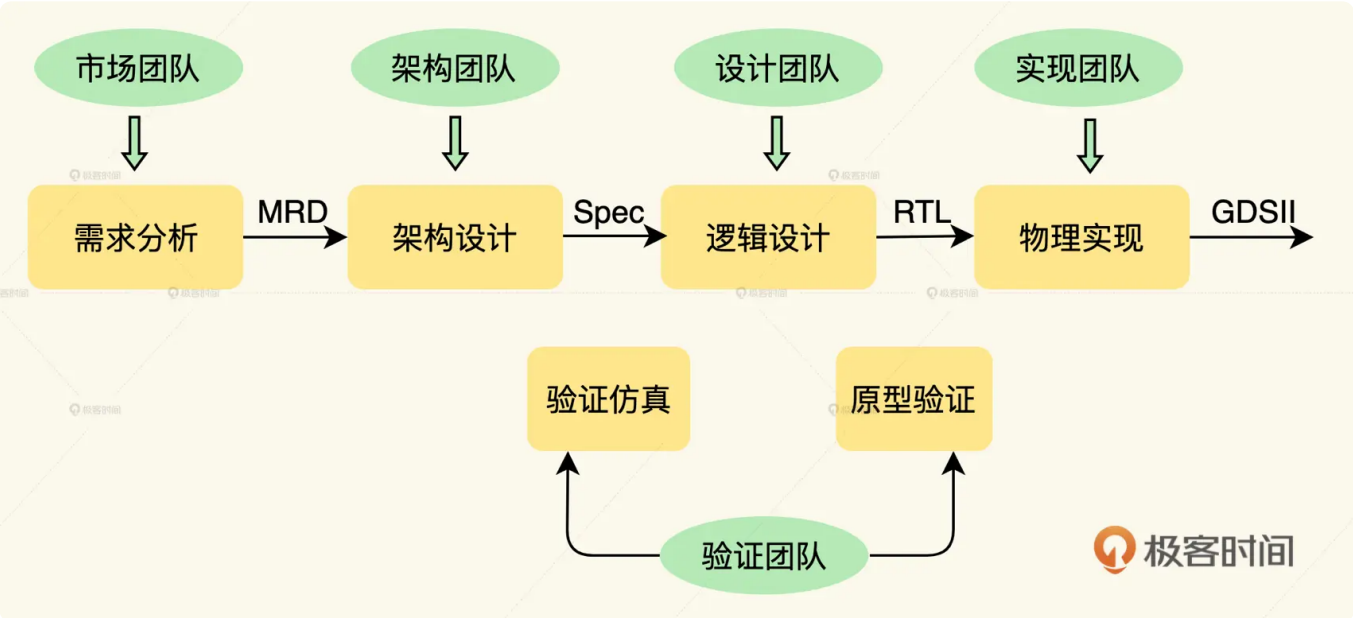
为了方便大家记忆理解，我做了一张完整的流程图。重点有市场需求分析、芯片设计、晶圆制造、封装测试这四个流程，最后，封装测试好的芯片成品会交给设备厂商，完成电子设备硬件的制造组装和软件安装。

你一定要记住这张图，基本上它对所有的电子设备，从指纹密码锁，到手机、PC、服务器，甚至超级计算机，都是适用的。



因为这个流程比较长，我把它拆成了两部分，这一讲重点放在芯片的设计，下一讲我们再来看芯片的制造。

如果只看芯片设计，它主要包含需求分析、架构设计、逻辑设计、物理实现和验证等几个部分。



如果说芯片项目和其他产品项目有什么不同，那就是芯片项目是人类历史上最细微也是最宏大的工程，研发投入大，项目收益高，**试错成本极高**。

以 iPhone 的 A11 应用处理器为例，这颗处理器包含 43 亿的晶体管，工程师们要在有限的项目时间内，实现手机应用处理器所需要完成的功能任务，还需要在 88mm² 指甲盖大小的面积下放置下 43 亿晶体管和它们自己的连线，再要经过缜密的验证工程，以保证它在 2 亿台手机上都能正常工作 2-3 年。

有人说芯片是人类造物的巅峰之作，我是非常认可这种说法的。

像 A11 处理器这样一个项目，它的商业价值有多大呢？我来给你算算。苹果每年的手机销售约为 2 亿台，按照上一讲我提供给你的 iPhone X 物料表，A11 价值 27 美金，乘以 2 亿台手机那就是总共价值 54 亿美金。

苹果的应用处理器是自己设计，委托台积电代工的。因此，27 美金的标价，算是成本价格了。如果购买其它同类同性能的应用处理器，可能大约要 80 美金的单价，这样算下来，就是 160 亿美金的总价值。

让我再重复一下几个关键数字，2017 年的发布的 iPhone 8，采用的应用处理器 A11，43 亿晶体管，88mm² 指甲盖大小的面积，2 亿手机销量，160 亿美金的总价值。不知道你看到这组数据是什么感觉，我是被这组数据震撼到了。

接下来，我就以苹果公司为例，先讲讲苹果是怎么走上自制芯片的道路的，然后再给你逐步揭秘芯片的设计流程。

课前小故事：苹果的芯片设计路

2005 年，苹果在开始计划 iPhone 之前的 iPod 产品时，当时是先买 PortalPlayer 公司的，后来采用三星的现成商业芯片搭建的。

商业芯片，英语有一个专门的词叫"off the shelf"，就是指从（超市）架子上拿下来就能用。现成的商业芯片的好处是方便易得，价格确定。不好的地方，就是挑一个 100% 满意的比较难。会遇到功能不完全匹配、性能有高有低、接口不够用、大厂价格贵，小厂可能供货不稳定等问题。

站在 2005 年的时间点，那时高通的手机应用处理器还没有 GPU，德州仪器还在为如日中天的诺基亚服务，而且没有单片的方案，需要另配基带芯片。总之，那个时候没有完美选择。

因此苹果打算定制一款自用的芯片。我们现在知道，苹果曾经和 Intel 谈过定制芯片的想法，但是 Intel 拒绝了。于是苹果转向邀请当时为 iPod 供应芯片的三星为自己定制芯片。

本来在买商业现成芯片，和定制芯片或者自制芯片之间，还有 FPGA 一个选择。FPGA 可以通过硬件编程语言，把芯片内的标准阵列器件重新组合，形成新的电路，完成类似定制芯片的功能，可以节省投片生产的开销和时间。

但是，代价就是单片的价格偏高，功耗偏高，因此 FPGA 在数据中心的应用较多，在手机终端领域极少。

苹果这种提供产品规格需求，由三星做设计服务和生产的这种模式，业内叫设计服务。而且委托设计服务的边界，非常灵活，苹果公司可以完全不参与设计只提产品规格要求，也可以自己完成部分设计，从一小部分到绝大部分都可以，其余再交给设计公司。

不过，这个过程其实也挺不容易，苹果在请三星设计过两代芯片之后，开始自建设计团队，最终决定自己来完成芯片设计环节。按照苹果架构师的回忆，三星实现了苹果要求的功能，但是最终的芯片并不是苹果想要的芯片。这种芯片规格书与芯片成品之间的差距，就是架构师要背的锅了。

小故事我先讲到这里，后面也就是苹果自己做设计的故事了。回到开篇说的芯片设计流程，我们来看看，要做芯片设计的话，芯片公司都会做哪些工作呢？

需求分析

其实可以想见当时一定是有多个芯片公司，发现了手机应用处理器这个真实需求。在芯片公司发现市场需求之后，通常会进行市场调查，总结出一个通用的市场需求清单出来。一般这个需求清单，会包括主要应用场景分析、软件栈、竞争分析、性能与定位、需求量与投资回报比分析、行规与标准，主要配套芯片的市场供应情况预测等多项内容。最终形成的就是一份市场需求文档。

每个公司的文档流程不一样，有的公司，在做市场需求文档之前，还要做商业需求文档，重点在于分析投入产出比。在市场需求文档之后，还要做深入的产品需求文档和细分的功能需求文档。

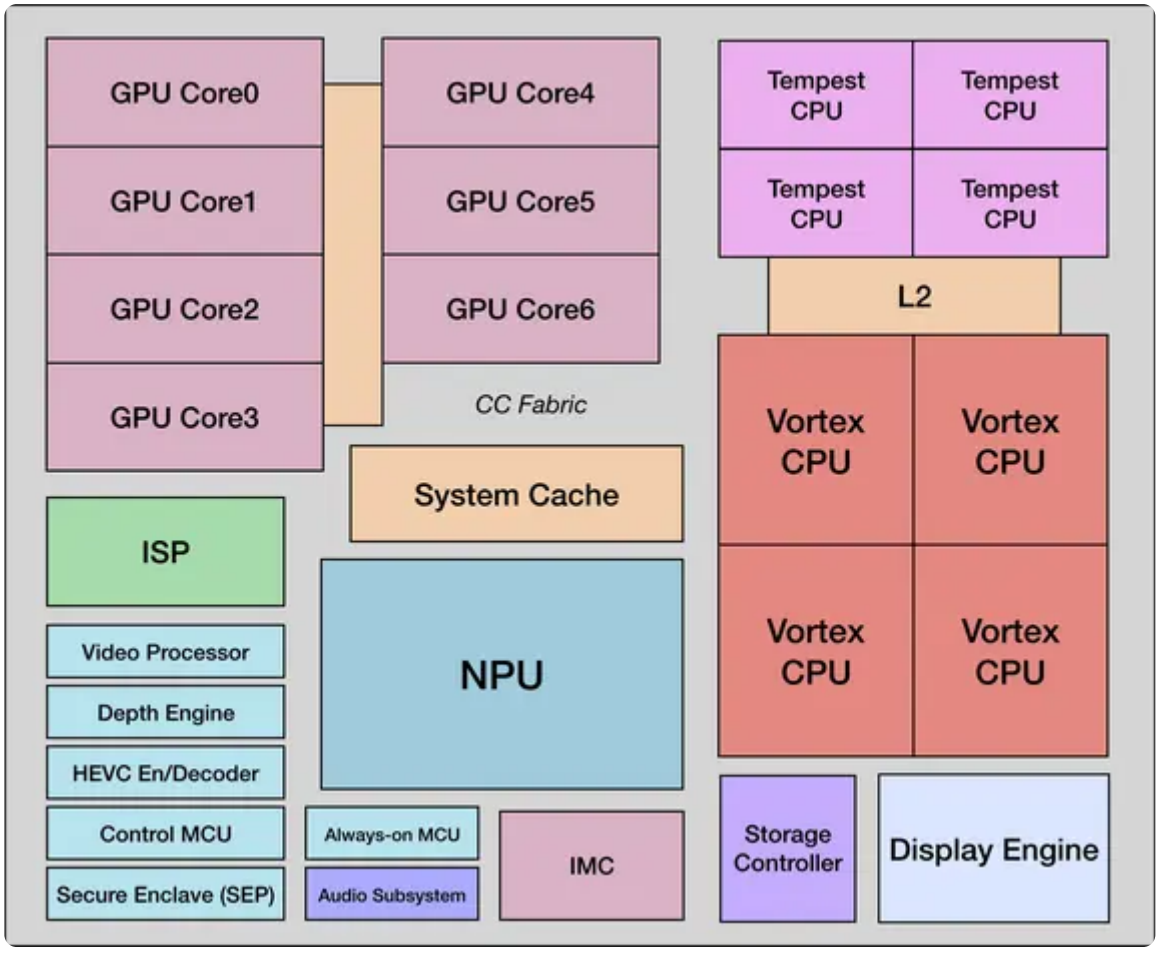
在需求分析之后，通常会有一个立项决策会议，由内部管理层决策是否进行此产品的开发。如果顺利通过立项决策，这个芯片项目就由市场部门，转交给研发部门。

像苹果 A11 这种项目，需求分析这一步，会集中在公司内部，为 iPhone8 服务。而如果是高通，联发科这种商业芯片公司，往往会征求主要客户的反馈，和手机厂商们对齐需求。

架构设计

我们说，一个项目是否有商业价值，主要看需求分析。而一个芯片是否做得好，80% 是由架构设计决定的。

在拿到需求分析文档后，高层设计人员，往往是以架构师为主的团队，需要开会对产品需求逐条进行可行性分析，并在此基础上确定基本架构和模块分解，最终设计出一个系统架构。我可以给你看看，苹果 A12 的一张系统架构图，你可以感受一下。



在基本架构确定之后，芯片的大目标，就是对 Power 功耗、 Performance 性能、Area 面积，也就是业内常提到的 PPA 衡量标准，要有明确的规划，这一般也就确定了要选择的制

造工厂和工艺制程。接着，芯片设计公司要把需要向供应商购买的 IP 和自研的 IP，把它们的交付时间和接口逐一确认。苹果的 CPU 核一直是自研的，GPU，则从 IP 供应商那里购买过很长一段时间。

如果采用先进封装技术进行小芯片（chiplet）的设计，此时封装方案和初步的布局规划也都应该确定了。在大多数情况下，一个芯片里面只封装一个集成电路硅片，但是有时候为了更高的性能，或者高密度的设计，当然还有成本因素，需要把多个硅片封装在一起，这种技术手段就叫先进封装。

到架构设计这一步，最终输出的就是一份产品规格书和高层架构设计文档。**这是一个将市场需求，翻译为可实现的芯片架构过程。**

架构确定了之后，通常架构团队和算法工程师团队会建模仿真，确保功能、性能、吞吐量等指标可实现。有了一个可行的芯片设计方案和芯片原型模型之后，架构团队就可以把文档和芯片模型移交给设计团队，开始逻辑设计。设计团队，会先输出微架构或者模块设计文档，然后进入编码阶段。

回顾一下开篇那张图，你可以理解，架构设计的输入是市场需求文档，输出是产品规格书。下一步，逻辑设计也叫前端设计，就需要拿着产品规格书，去输出 RTL 代码，用以生成网表（Netlist）了。

我们在开头提到，在逻辑设计完成后，还要做物理实现，物理实现就是由 RTL 代码综合成门级网表，然后生成 GDS II 文件的过程。这里的物理实现也叫后端设计，前端和后端设计这两个部分并没有统一严格的界限，凡涉及到与物理工艺有关的设计我们就叫后端设计。我们先来看逻辑设计。

逻辑设计

前端设计与验证

前端设计（逻辑设计）一般用硬件描述语言，例如 Verilog，将架构师的设计用编码实现。大型芯片项目，设计也是分层次的。先进行模块设计，底层的模块写完之后，把新写的模块、商业 IP、复用的旧 IP 等整合在一起，形成一个完整的设计。

其实硬件描述语言，看起来跟 C 语言颇为类似，不过**写 C 语言的人，心里想着“hello world”，写 Verilog HDL 的人，心里想着电路图。**

我给你展示一段编码，用 Verilog HDL 写的寄存器传输级设计如下图：

Verilog RTL暗示一个触发器：

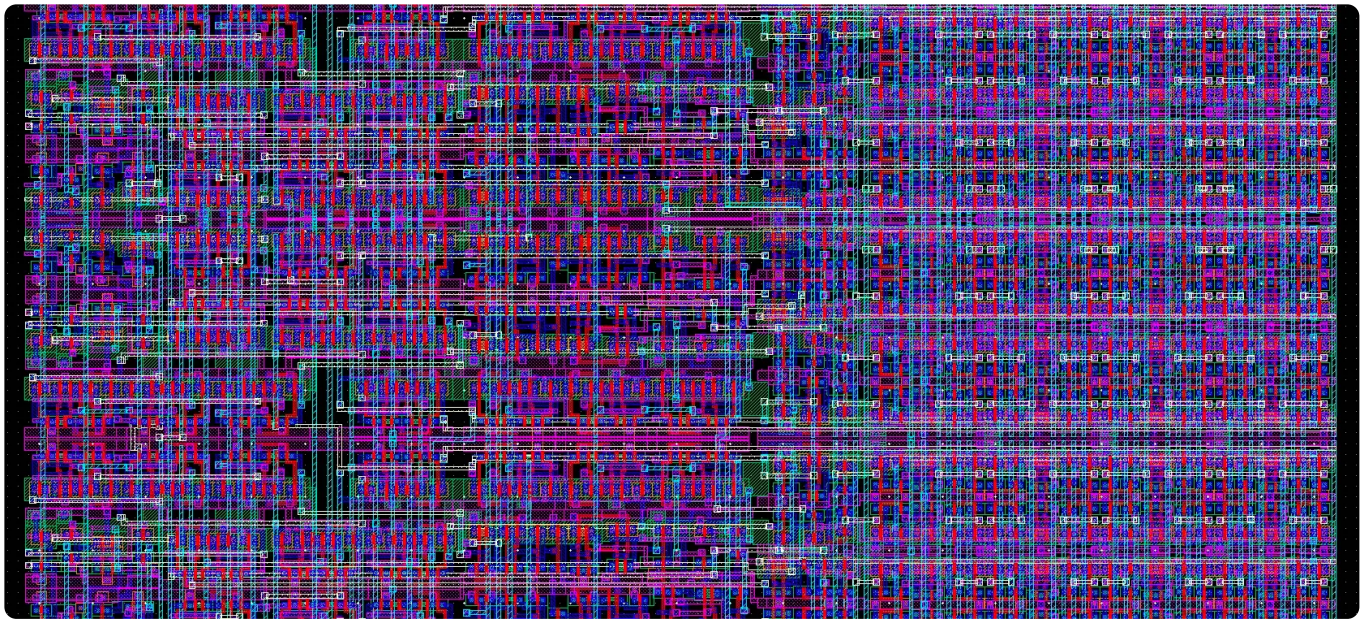
```
logic a;              //logic is SystemVerilog, could be a 'reg'
logic k;              // Driven by RTL not shown
always @(posedge clk or negede rst_n) begin
  if (~rst_n) begin
    a <= 'b0 ;
  end
  else begin
    a <= k ;
  end
end
```

跟其它的软件项目一样，在设计的同时，验证也要并行进行。验证是芯片设计中最为耗时耗力的工序，ARM 的技术白皮书有统计，一般一个项目的 40% 资源是用在验证阶段的。

逻辑综合

设计验证完成之后，还有一个步骤，叫逻辑综合（Logic Synthesis），就是用 EDA 工具把寄存器传输级设计 RTL 描述变网表（Netlist），非常类似于编译器把 C 语言翻译成机器语言的过程。从这一步开始，芯片的设计就和具体的晶圆代工厂和具体工艺绑定在一起，设计开始具有物理特征了。

网表表示的电路如下图，它其实就是描述电路元件相互之间的连接关系。



逻辑综合，对于半导体设计公司不难，但是却是 EDA 公司的核心产品之一。在实现流程中，就背后算法而言，综合一定是最难最复杂的步骤。一个晶圆厂，并不仅仅要有先进工艺，提供给设计公司的设计工具包 PDK（Process Design Kit）和 EDA 厂商的支持也非常重要。

DFT（可测试性设计）

除了以上两步，前端设计还有一个步骤就是 DFT（Design For Test）。所谓 DFT，就是预先规划并插入各种用于芯片测试的逻辑电路。芯片制造后期，在封测阶段中，很多测试需要依赖 DFT 的设计。

完成以上工作后，前端设计团队就可以将生成的网表交给后端实现团队，开始物理设计了。当然这个过程不是一蹴而就的，前端设计工程师往往要多次，不同层次的反复综合、验证，各种设计规则检查，既要确保设计的正确性，又要保证设计的布局布线可行且优化。

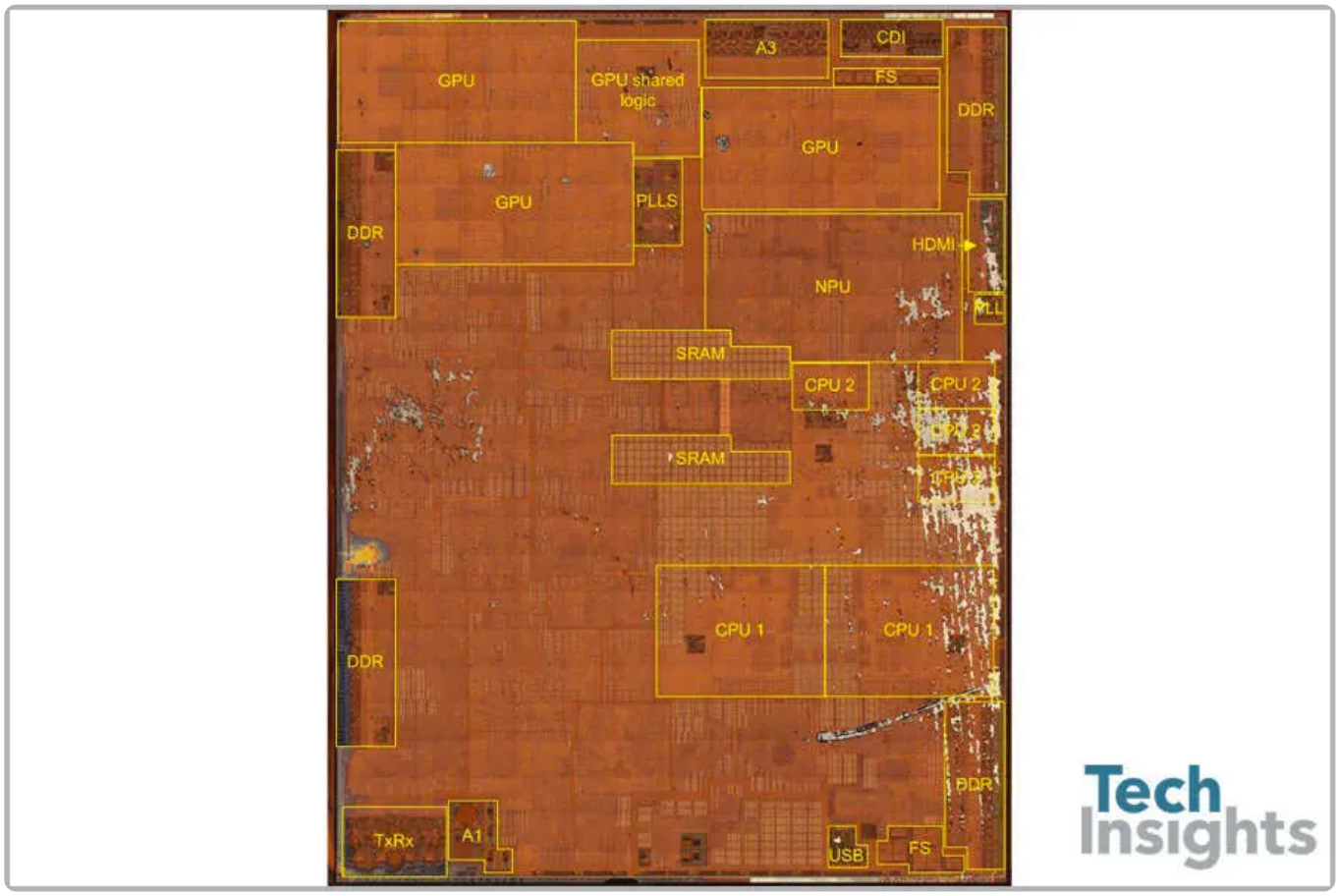
整个逻辑设计阶段，你可以这样理解：**架构师写在文档上的指标与功能，是需要设计团队通过一行行的代码实现出来的。**

物理实现

在前端设计结束后，后端也就是物理实现需要完成布局布线，这个时候，需要把网表转换成制造工厂可以看懂的文件，也就是转化为制造工厂可以用来制造光罩的图形文件。

后端设计的主要步骤可以总结为：布局规划 Floorplan→布局 Placement→时钟树综合 CTS→布线 Routing →物理验证。

布局规划就是在总体上确定各种电路的摆放位置，它是后端实现中最为重要的一个环节。我这里放了一张图，你可以看下苹果 A11 的布局规划是怎么样的。



芯片的面积、时序收敛、稳定性、走线难易，基本上都是受布局规划的影响。在实际项目中，往往此时还有未完成的模块，就要预留位置。

规划之后，在指定区域摆放元器件，就是布局，而把各个元器件连接起来，就是布线。一颗芯片的树状的时钟信号线路非常重要，往往需要单独布线，因此还有一个专门的名称：时钟树综合。最后，要做验证。

我说得简单，其实这就是在指尖上建高楼，在小小的芯片上放置上百亿个晶体管，纳米级的单位，幸而有 EDA 工具辅助，这不是人力所及的工程。

一颗芯片做得好不好，在决策阶段取决于市场需求理解的是否深刻，在逻辑设计阶段取决于工程师的能力强不强，而在物理实现阶段基本取决于 EDA 工具玩得好不好。

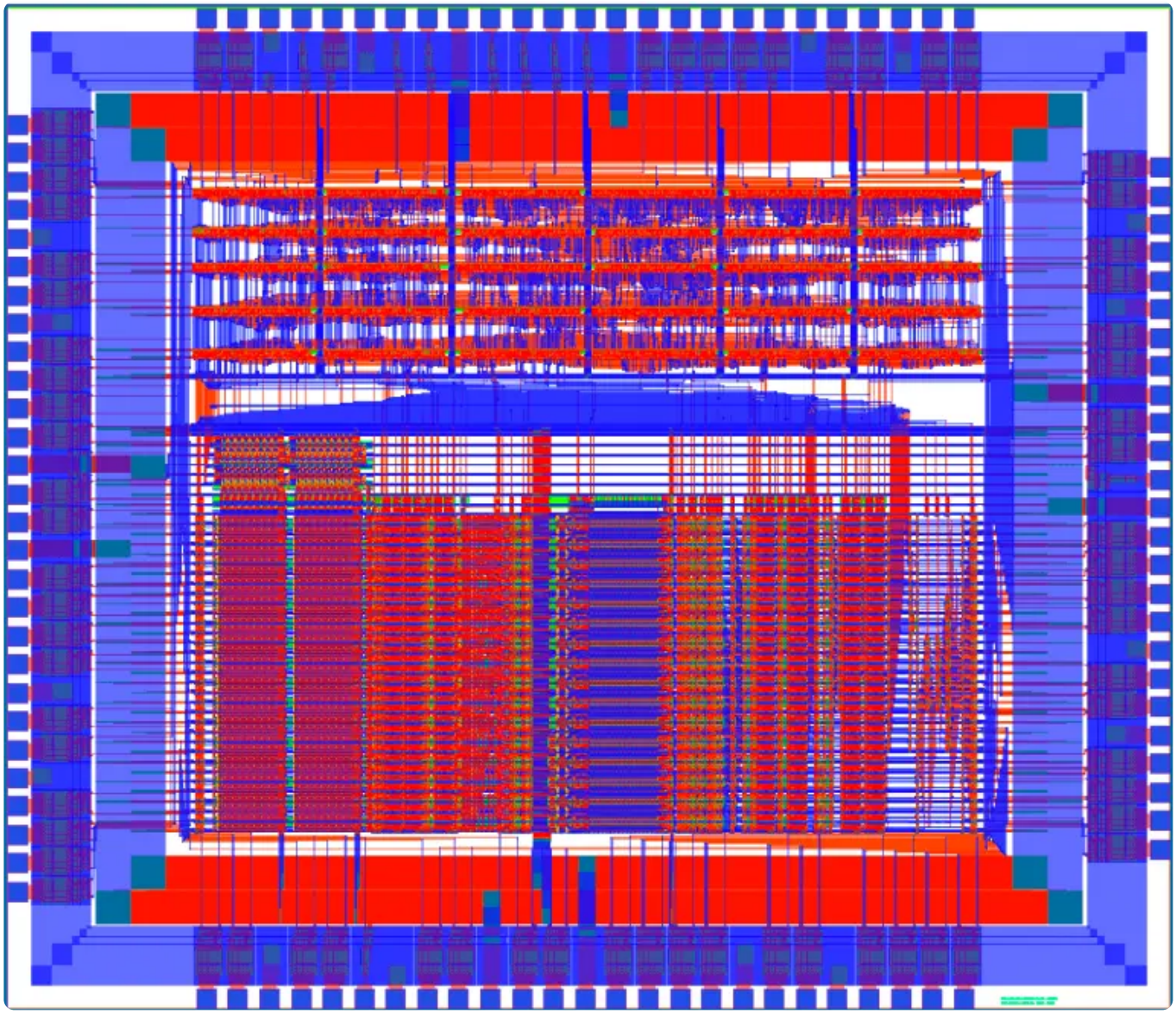
在芯片设计进入纳米时代之后，布局布线的复杂度呈指数增长，从布局规划到布局布线，时钟树综合，每一步涉及到的算法在近年都有颠覆性的革新。这些步骤，都高度的依赖 EDA 工具。要对 EDA 工具有深度理解，并且要理解 EDA 工具背后的方法学。

整个芯片设计流程就是一个设计、优化、验证的不断迭代的过程，每一步如果不能满足要求，例如时序不能满足目标要求，或者存在物理规则违规，信号完整性不合格，都要重复之前的过程，直至满足要求为止，才能进行下一步。

在项目早期，任何的问题，都可以通过修改 RTL，然后重做后续步骤来完成。因此大项目，往往有多个版本火车并行在跑。

在项目后期，特别是在最后阶段发现个别电路小问题 ，可以进行工程更改（Engineering Change Order,ECO）。ECO 有专门的 EDA 工具和流程，我就不展开说了。

物理设计完成之后就形成了下图展示的电路图。图中可以看到蓝、红等不同颜色，每种颜色就代表着一张光罩。这个时候的芯片设计就可以以 GDSII 的文件格式从设计公司移交给芯片代工厂了。自此，设计完成，制造流程开始。



总结

这一讲，我们了解了一颗芯片的诞生，第一步就是芯片设计，有几个重点，简单给你总结一下。

1. 芯片项目是人类历史上最细微也是最宏大的工程，研发投入大，项目收益高。
2. 在需求分析之后，进入芯片设计过程。芯片的设计过程可分为两个部分，分别为：前端设计（也称逻辑设计）和后端设计（也称物理实现），这两个部分并没有统一严格的界限，凡涉及到与工艺有关的设计都可称为后端设计。
3. 一颗芯片做得好不好，在决策阶段取决于市场需求理解的是否深刻，在逻辑设计阶段取决于工程师的能力强不强，而在物理实现阶段基本取决于 EDA 工具玩得好不好。
4. 整个芯片设计流程是一个设计，优化，验证的不断迭代的过程。

思考题

你同意需求分析是整个项目中最重要的环节这个说法么？欢迎你在评论区给我留言。

分享给需要的人，Ta订阅后你可得 20 元现金奖励

赞 7 提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 02 | 从一部iPhone手机看芯片的分类

下一篇 04 | 芯片制造：一颗芯片到底是如何诞生的（下）

更多学习推荐

精选留言 (16)

写留言

BBQ
2021-05-24

同意：需求做得好不好，决定了这个芯片的价值，如果需求分析做错了，那即使后面工程师能力再强，工艺再先进，也卖不出去。

我是做软件的， 软件的需求分析也很重要，但是软件有个特点，就是随着需求的变化而不断演进，所以一般开始都开发个MVP试错，不行就再改。...

展开

作者回复: 感谢认同。硬件，特别是芯片，设计周期和代价，在那里，因此需求分析错了，就同时浪费了时间，金钱，错过了市场。

1 7

送过快递的码农

2021-05-24

其实这么看起来，华为挺牛逼的，麒麟芯片虽然跑分上落后同时期的A系列芯片，但是其设计实力还是毋庸置疑的，而且就冲着体量，再一条路走到死的芯片设计上，能够紧跟世界先进水平还是厉害的。可惜。。。哎。。。

作者回复: 华为/海思真是行业之光。

1 3

詹姆斯Li

2021-05-24

同意，需求这个阶段闭门造车，一旦做出来的芯片不是下游或者市场需要的，失败的成本太高了，一不小心就被竞争对手超车了。
有个问题想请教，芯片的研发到量产的过程需要多久，另外一款芯片在市场上的生命周期有多久呢，考虑到手机厂商可能还要做硬件预留，感觉一款手机芯片的需求分析要前瞻好几年吧，这么长周期的预判要怎么做到需求分析的准确判断呢？

展开

作者回复: 设计时间，看复杂程度和团队经验，最快我听说过2个月TO，也有做了2年放弃设计的。芯片生命周期，也是有长有短，车，MCU，有十多年的。手机应用处理器，周期就短一点，长期预判，有一定的市场研发方向可徇，有行业标准可预计，还有一部分是靠产品部门的研究分析，有“赌”的成分。

1

彭海民

2021-05-24

同意，需求分析的过程，也是项目目标的确立过程，目标错了，整个项目实施就只能算是一次演习。
哈哈，芯片设计中的每一步都值得我们敬畏，我等凡人不该对每一步的价值胡乱排序。

作者回复: 这个回答也很在理，加🍗。

2

阳光彩虹小白马
2021-06-08

认同一部分，需求分析在不同体量的产品中占比不同，如果是初创或者开拓市场阶段，需求分析非常关键。产品成熟阶段，需求分析与技术可实现度之间需要balance，产品要达到护城河阶段时，需求其实已经多轮迭代，优化空间不大，更多是在ppa上磨练内功。粗浅见识，望指正，来自一名努力想往好的架构师发展的芯片从业者

展开

作者回复: 我的感觉好像正好相反，初创阶段，其实参考竞对，针对市场主流需求，反而不会有大的出入，几次迭代之后，PPA优化空间不大了之后，反而需要对市场的认识有所突破，才能脱颖而出。

杨逸林
2021-05-31

以前在学校学的 SmartEDA FPGA 没想到和芯片设计相关...

展开

作者回复: 我没有学过... ... 因此先查了查，哈哈，都可以算相关的。

CaptainJackey
2021-05-27

这个问题可以辩证来看：
1、对于苹果/华为这类巨头公司，终端产品市场占有率足够大，有足够的技术资金来研发投入和产品验证，现成的需求，做出来就能替代降成本；
2、对于相对中等规模公司，如早期oppo/小米只能依靠外购高端芯片（高通）保持产品领先；...

展开

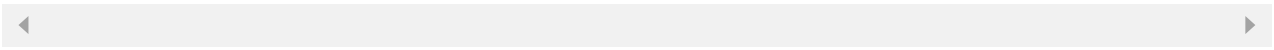
作者回复: 系统公司本身就是需求掌握方，因此做市场需求分析能力强。fabless公司，需求分析就痛苦一点。

唐宏伟
2021-05-25

同意。一直认为无论软件工程还是硬件工程项目，需求分析都是项目设计的最重要阶段也是花时间投入最大的阶段，是决定项目是否能成功被市场或客户接受的非常重要的工作。

展开

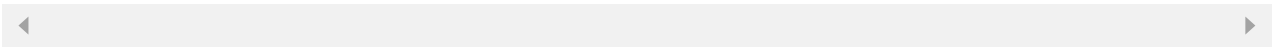
作者回复: 握手



sugar
2021-05-25

请教一下：经常在一些新闻 tech资讯当中听到 某某芯片进入到流片环节，这里的流片 具体来说是不是就是gdsii 环节已经完成，交付给代工厂 但先不大批量生产，少量生产几片demo 出来测试下效果？

作者回复: 是，开始肯定只订够测试且工厂允许的最小量，回片之后测试，验证，甚至交给客户试用，基本没问题，才转量产。

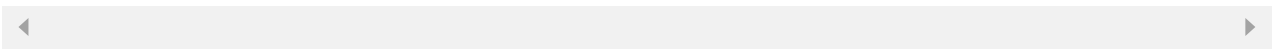


Geek_774e42
2021-05-25

流片后的事情也讲讲呗，譬如回片验证？EC？

展开

作者回复: 验证，太项目相关了。关键48小时，2周，20%跑完80%的测试... ...



土敦丰
2021-05-25

55nm. 28nm这些数字，不是代表芯片好坏吧，关键是看设计，对吗

作者回复: 对的，关键是看设计和实现的好坏。 不过，一般来说，28nm的NRE费用高，相对55nm来说。 高投入，期望高产出。

Eric Cartman
2021-05-25

同意，芯片研发周期长，需求分析没做好，等芯片做出来，发现制程和功能都落后了，都没有办法修补和挽回的。

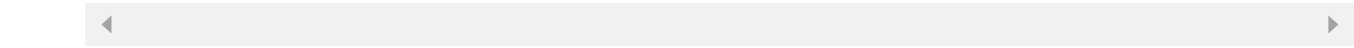
作者回复: 多谢支持 ：)

Panda
2021-05-24

需求分析就是找到方向 俗话说：磨刀不误砍柴工

展开

作者回复: ：)

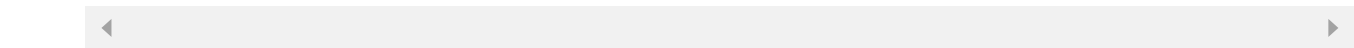


柯科
2021-05-24

同意，方向对了，后面的努力才有意义

展开

作者回复: 感谢认同。



2021-05-24

完全同意，需求分析是最重要的，因为它指引了大方向。

按老师文中所讲，芯片属于研发投入大，项目收益高，试错成本极高的行业。在芯片的很多应用领域，存在着赢家通吃的局面，行业前二有着光明的前景，做到行业第三跟前面也有着不小的差距。...

展开

作者回复: 可以加10分钟的回复 ：）

springXu 神

2021-05-24

在这个问题上，我认为是具体问题具体分析的。也就是说在某些项目中需求分析相对于其他环节是最重要的，在某些项目中需求分析却不一定比其他环节最重要的。
例子如下，MTK在功能机上一站式服务的手机解决方案来说，MTK的芯片设计的需求分析是到位的。 因为原来这种解决方案像IT和飞利浦的手机芯片，必然会有像龙旗这样的方案公司出现。MTK手机方案是解决一整套，它的需求分析就是做的好。...

展开

作者回复: 其实Intel的设计能力也很不错的。